

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-116937

(43)Date of publication of application : 27.04.2001

(51)Int.Cl.

G02B 6/12

(21)Application number : 11-299832

(71)Applicant : HITACHI CABLE LTD

(22)Date of filing : 21.10.1999

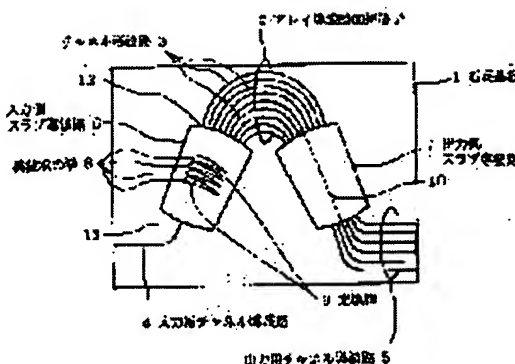
(72)Inventor : MARU KOICHI
OKAWA MASAHIRO
UETSUKA NAOTO

(54) OPTICAL WAVELENGTH MULTIPLEXER/DEMULTIPLEXER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical wavelength multiplexer/demultiplexer which obviates such an increase of loss by groove formation like heretofore and optimizes a spectral response.

SOLUTION: Curvilinear grooves 8, 8, etc., are formed to intersect in a progressing direction of light waves in either of an input side slab waveguide 6 or output side slab waveguide 7 of the array waveguide diffraction grating type optical wavelength multiplexer/demultiplexer. These grooves 8, 8, etc., are embedded by packing materials 9 having the temperature gradient of the refractive index different from the refractive index of the material constituting the slab waveguide 6 or 7.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

31.07.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3498650

[Date of registration]

05.12.2003

BEST AVAILABLE COPY

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-116937

(P2001-116937A)

(43) 公開日 平成13年4月27日 (2001.4.27)

(51) Int.Cl.⁷

G 0 2 B 6/12

識別記号

F I

G 0 2 B 6/12

テーマコード(参考)

F 2 H 0 4 7

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号

特願平11-299832

(22) 出願日

平成11年10月21日 (1999. 10. 21)

(71) 出願人 000005120

日立電線株式会社

東京都千代田区大手町一丁目6番1号

(72) 発明者 丸 浩一

茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立

電線株式会社オプトロシステム研究所内

(72) 発明者 大川 正浩

茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立

電線株式会社オプトロシステム研究所内

(74) 代理人 100071526

弁理士 平田 忠雄

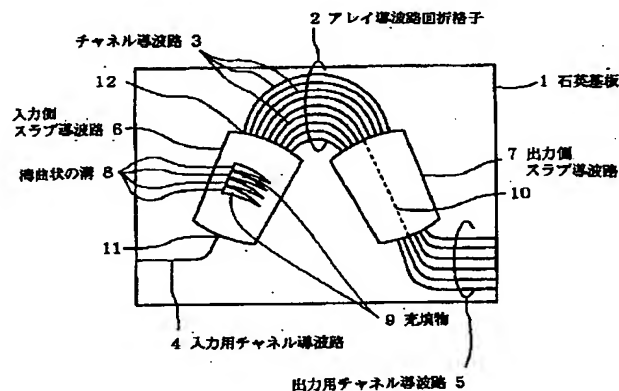
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光波長合分波器

(57) 【要約】

【課題】従来のように溝形成によるような損失増がなく、スペクトル応答を最適化させた光波長合分波器を提供する。

【解決手段】アレイ導波路回折格子型光波長合分波器の入力側スラブ導波路6あるいは出力側スラブ導波路7のいずれかに、光波の進行方向に交差するようにして湾曲状の溝8、8・・・を形成し、スラブ導波路6あるいは7の構成材と異なる屈折率の温度勾配を有する充填物9によって溝8、8・・・を埋める。



【特許請求の範囲】

【請求項1】入力した波長多重光を分波して異なる波長の複数の光を出力し、入力した異なる波長の光を合波して波長多重光を出力する光波長合分波器において、所定の長さずつ異なる長さを有した複数のチャンネル導波路より構成されるアレイ導波路回折格子と、前記アレイ導波路回折格子の入力側に配置された入力用のチャンネル導波路と、前記アレイ導波路回折格子の出力側に配置された複数の出力用のチャンネル導波路と、前記アレイ導波路回折格子と前記入力用のチャンネル導波路の間に配置された入力側のスラブ導波路と、前記アレイ導波路回折格子と前記複数の出力用のチャンネル導波路の間に配置された出力側のスラブ導波路とを備え、前記入力側あるいは出力側のスラブ導波路は、前記アレイ導波路回折格子と前記出力側のスラブ導波路との境界付近において温度変化によって生ずる各波長の光の等位相面の変化をキャンセルする材料を光の進行方向と交差するように湾曲状に形成してその一部に含むことを特徴とする光波長合分波器。

【請求項2】入力した波長多重光を分波して異なる波長の複数の光を出力し、入力した異なる波長の光を合波して波長多重光を出力する光波長合分波器において、所定の長さずつ異なる長さを有した複数のチャンネル導波路より構成されるアレイ導波路回折格子と、前記アレイ導波路回折格子の入力側に配置された入力用のチャンネル導波路と、前記アレイ導波路回折格子の出力側に配置された複数の出力用のチャンネル導波路と、前記アレイ導波路回折格子と前記入力用のチャンネル導波路の間に配置された入力側のスラブ導波路と、前記アレイ導波路回折格子と前記複数の出力用のチャンネル導波路の間に配置された出力側のスラブ導波路とを備え、前記入力側あるいは出力側のスラブ導波路は、光の進行方向と交差するように形成された湾曲状の溝と、前記湾曲状の溝を埋め、前記湾曲状の溝が形成された前記入力側あるいは出力側のスラブ導波路の構成材と異なる屈折率の温度勾配を有した充填物より構成されることを特徴とする光波長合分波器。

【請求項3】前記湾曲状の溝は、その壁面の曲率中心が、前記溝部が形成された前記入力側あるいは出力側のスラブ導波路と前記入力用あるいは出力用のチャンネル導波路との境界付近に設定されることを特徴とする請求項2項記載の光波長合分波器。

【請求項4】前記湾曲状の溝は、光波の進行方向に配列

された複数の湾曲状の溝を含むことを特徴とする請求項2項記載の光波長合分波器。

【請求項5】前記充填物は、シリコン樹脂、エポキシ樹脂、ポリメチルメタクリレート樹脂等の光学樹脂、あるいはナトリウム、カリウムおよびカルシウムを含む多成分ガラス材より構成されることを特徴とする請求項2項記載の光波長合分波器。

【請求項6】前記充填物は、前記光学樹脂より構成され、前記湾曲状の溝が形成された前記入力側あるいは出力側のスラブ導波路は、石英系材料より構成されることを特徴とする請求項2項記載の光波長合分波器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光波長合分波器に関し、特に、スラブ導波路への溝形成による損失増加が抑制され、スペクトル応答が最適化された光波長合分波器に関する。

【0002】

【従来の技術】光通信の分野においては、複数の信号を別々の波長の光にのせて1本の光ファイバで伝送し、これにより情報量を増加させる波長分割多重方式による通信方法が検討されている。この方法では、異なる波長の光を合波する光波長合分波器が重要な役割を果たすことになる。なかでも、アレイ導波路回折格子を用いた光波長合分波器は、狭い波長間隔の合分波が可能であり、従って、通信容量の多重数を大きくできる利点を有している。

【0003】図8は、従来のアレイ導波路回折格子型光波長合分波器の構成を示す。複数のチャンネル導波路3より構成されるアレイ導波路回折格子2の入力側に、入力側スラブ導波路6と入力用チャンネル導波路4を形成し、一方、出力側には、出力側スラブ導波路7と出力用チャンネル導波路5を形成することにより光回路を構成したもので、1は以上の光回路が形成された石英基板を示す。

【0004】入力用チャンネル導波路4から入力した光波は、入力側スラブ導波路6の内部を伝搬してアレイ導波路回折格子2との境界に到達し、到達した光波は、境界における電界分布に応じた電力比のもとにチャンネル導波路3を伝搬し、チャンネル導波路3と出力側スラブ導波路7の境界に到達する。

【0005】チャンネル導波路3の長さは、内側から ΔL の一定長ずつ長くなるように設計されており、従って、内側から i 番目のチャンネル導波路3を伝搬した光波が受ける位相変化量 ϕ' 。(λ)は、一番内側のチャンネル導波路3を基準として、式(1)により求めることができる。

【数1】

$$\phi'_a(\lambda) = \frac{2\pi n_a}{\lambda} i \Delta L \quad (1)$$

【0006】式中、 λ は真空中での光波の波長、 n_a はチャンネル導波路3の等価屈折率を示す。以上の式より、チャンネル導波路3と出力側スラブ導波路7の境界近傍における光波の等位相面は、波長に依存して傾斜することになり、各チャンネル導波路3によって位相変化を受けた光波は、出力側スラブ導波路7の中で干渉を起こし、この干渉波が出力用チャンネル導波路5から取り出される。

【0007】ここにおいて、等位相面の向きは波長ごと*

$$\lambda = \frac{n_a \Delta L}{m} \quad (2)$$

【0008】ところで、通常材料によって光回路を構成する場合には、温度が変化すると、熱光学効果のために材料の屈折率が変化することによる n_a の変動が生じ、さらに、熱膨張によりチャンネル導波路3の長さが増加することを原因とした ΔL の変動が生ずる。従って、チャンネル導波路3と出力側スラブ導波路7の境界近傍における光波の等位相面は、温度によって傾斜し、出力さ*

*に異なるため、波長が変化すると、出力側スラブ導波路7と各出力用チャンネル導波路5の境界で光の集光位置がシフトし、このため、各出力用チャンネル導波路5からは、異なる波長の光波を取り出すことができ、この結果光波の合分波が実現される。出力側スラブ導波路7の対称軸12上に配置された出力用チャンネル導波路5から出力される光波の波長 λ は、以下の式(2)により表される。式中、 m は回折次数を示す。

【数2】

※れる波長には変化が生ずるようになる。

【0009】一方、出力側スラブ導波路7の対称軸10上に配置された出力用チャンネル導波路5から出力される光波においては、温度 T が ΔT だけ変化したとすると、その波長変化量 $\Delta \lambda$ は、式(2)を T で微分した次式(3)により求めることができる。

【数3】

$$\begin{aligned} \Delta \lambda &= \frac{\Delta L}{m} \left[\frac{dn_a}{dT} + n_a \frac{1}{\Delta L} \frac{d(\Delta L)}{dT} \right] \Delta T \\ &\cong \frac{\lambda}{n_a} \left[\frac{dn_a}{dT} + n_a \frac{1}{\Delta L} \frac{d(\Delta L)}{dT} \right] \Delta T \end{aligned} \quad (3)$$

【0010】ここで、光回路を石英系材料で構成した場合において、 dn_a/dT が石英系材料の温度係数に等しいとすると、 $dn_a/dT \cong 1 \times 10^{-5}$ 、 $1/\Delta L \cdot d(\Delta L)/dT \cong 5 \times 10^{-7}$ 、および $n_a \cong 1.45$ であるから、 $\lambda = 1550$ [nm]としたとき、 $\Delta \lambda/\Delta T \cong 0.01$ [nm/°C]の関係が成立する。従って、たとえば、0~60°Cの環境においてこの光波長合分波器を使用したとすると、その波長は、最大で0.6 nmのシフトを招くことになるが、このような波長のシフトのもとで実用システムへ適用することは困難であり、これを可能にするためには光回路の温度制御が必要となる。

【0011】図9は、波長のシフトを低減し、温度制御を不要化した光波長合分波器の例を示す。チャンネル導波路3の一部に溝14を設け、この溝14に屈折率の温度係数が光回路と異なる材料を充填し、これにより温度による等位相面の傾斜をキャンセルしようとするもので、

Y. Inoue他による“Athermal silica-based arrayed-waveguide grating (AWG) multiplexer”, ECOC97 technical digest, pp. 33-36, 1997に詳細に述べられている。しかし、この方法によると、2次元的な光の閉じ込め効果を有するチャンネル導波路3の途中に溝14を設ける構造としているため、溝14における回折損失が大きくなるという問題を有している。

【0012】図10は、溝部での回折損失を低減するために提案された光波長合分波器を示す。入力側スラブ導波路6（あるいは出力側スラブ導波路7）に溝15を設け、この部分に光回路と異なる屈折率の温度係数を有する材料を充填した構成を有するもので、スラブ導波路6における光の閉じ込めが1次元的なものとなるため、回折損失の増加を抑制できる利点を有している。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】しかし、この光波長合分波器によると、溝15の幅を図9における溝14と同程度に設ける必要があるため、その回折損失の増大化防止効果は、なお、不十分であり、従って、これによって実用に耐える光波長合分波器を構成することは困難であるとともに、光波のスペクトル応答性に問題が生ずるようになる。

【0014】図11および図12に、溝15による損失への影響の度合を示す。図11に溝15を有しない場合を、図12に有する場合を示したもので、それぞれビーム伝搬法による設計値が図示されており、この設計値の最低損失は、実際の測定値の最低損失と一致させてある。

【0015】これらのグラフによれば、溝15がない図11の場合には、通過域（メインローブ）Aにおける形状は設計値とほぼ同じであり、その最低損失は4.3 dBの低レベルにとどまっているが、溝15が形成された図12の場合には、通過域が設計値よりも広がり、最低損失も7.1 dBと溝なしに比べて約3 dB高くなる。

【0016】図13は、スペクトル応答の問題を図解して示したものである。入力用チャンネル導波路4の出口位置に相当する点Oから出射して溝15の中央付近を伝搬する光波と、中央から離れた部分を伝搬する光波とでは、溝15による屈折角 θ_1 および θ_2 が異なるために収差が生ずる。従って、この収差のままに光波が送られれば、光波のスペクトル応答には、溝14のないものに比較して大幅なズレが生ずることになる。

【0017】以上のように、スラブ導波路6あるいは7に溝15を形成した従来の光波長合分波器によれば、溝15の形成による損失を低く押さえることが難しく、また、スペクトル応答性においても問題を有するものであり、現状のままでこれを実用化することは難しい。

【0018】従って、本発明の目的は、従来のように溝形成によるような損失増がなく、スペクトル応答を最適化させた光波長合分波器を提供することにある。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記の目的を達成するため、入力した波長多重光を分波して異なる波長の複数の光を出力し、入力した異なる波長の光を合波して波長多重光を出力する光波長合分波器において、所定の長さずつ異なる長さを有した複数のチャンネル導波路より構成されるアレイ導波路回折格子と、前記アレイ導波路回折格子の入力側に配置された入力用のチャンネル導波路と、前記アレイ導波路回折格子の出力側に配置された出力用のチャンネル導波路と、前記アレイ導波路回折格子と前記入力用のチャンネル導波路の間に配置された入力側のスラブ導波路と、前記アレイ導波路回折格子と前記複数の出力用のチャンネル導波路の間に配置された出力側のスラブ導波路とを備え、前記入力側あるいは出力側の

スラブ導波路は、前記アレイ導波路回折格子と前記出力側のスラブ導波路との境界付近において温度変化によって生ずる各波長の光の等位相面の変化をキャンセルする材料を光の進行方向と交差するように湾曲状に形成してその一部に含むことを特徴とする光波長合分波器を提供するものである。

【0020】また、本発明は、上記の目的を達成するため、入力した波長多重光を分波して異なる波長の光を出力し、入力した異なる波長の光を合波して波長多重光を出力する光波長合分波器において、所定の長さずつ異なる長さを有した複数のチャンネル導波路より構成されるアレイ導波路回折格子と、前記アレイ導波路回折格子の入力側に配置された入力用のチャンネル導波路と、前記アレイ導波路回折格子の出力側に配置された複数の出力用のチャンネル導波路と、前記アレイ導波路回折格子と前記入力用のチャンネル導波路の間に配置された入力側のスラブ導波路と、前記アレイ導波路回折格子と前記複数の出力側のチャンネル導波路の間に配置された出力側のスラブ導波路とを備え、前記入力側あるいは出力側のスラブ導波路は、光の進行方向と交差するように形成された湾曲状の溝と、前記湾曲状の溝を埋め、前記入力側あるいは出力側のスラブ導波路の構成材と異なる屈折率の温度勾配を有した充填物より構成されることを特徴とする光波長合分波器を提供するものである。

【0021】上記した湾曲状の溝の壁面は、その曲率の中心を、この溝が形成された入力側のスラブ導波路と入力用のチャンネル導波路の境界付近、あるいはこの溝が形成された出力側のスラブ導波路と出力用のチャンネル導波路の境界付近に設定することが好ましく、また、その数は、単一よりも光波の進行方向に複数に分けて形成することが好ましい。溝幅をできるだけ小さく設定して複数個形成する構成は、損失の増加度合を減少させる作用をもたらすので多くの場合に採用される。

【0022】温度変化によって生ずる各波長の光の等位相面の変化をキャンセルする材料、および湾曲状の溝を埋める充填物の構成材としては、シリコン樹脂、エポキシ樹脂、ポリメチルメタクリレート樹脂等の各種の光学樹脂、あるいはナトリウム、カリウムおよびカルシウムを含む多成分ガラス材等が使用され、一方、入出力スラブ導波路、入出力チャンネル導波路、およびアレイ導波路回折格子を構成するチャンネル導波路の構成材としては、多くの場合、石英系材料が使用される。

【0023】特に、光学樹脂と石英系材料のスラブ導波路を組み合わせるときには、前者の屈折率の温度依存性が負を示すのに対して、後者の屈折率の温度依存性が正を示すため、温度無依存型の光波長合分波器を構成するうえにおいて顕著な効果を確保することができる。

【0024】

【発明の実施の形態】次に、本発明による光波長合分波器の実施の形態を説明する。図1において、1は石英基

板を示し、この基板1には、光回路を有する石英のコアが形成され、このコアの表面には石英のクラッド層が形成されている。2は光回路の中央のアレイ導波路回折格子を示し、円弧状の複数のチャネル導波路3、3・・・によって構成されている。4は導波路回折格子2の入力側に配置された入力用チャネル導波路、5はアレイ導波路回折格子2の出力側に配置された出力用チャネル導波路を示す。

【0025】6はアレイ導波路回折格子2と入力用チャネル導波路4の間に配置された入力側スラブ導波路、7はアレイ導波路回折格子2と出力用チャネル導波路5の間に配置された出力側スラブ導波路を示す。入力側スラブ導波路6には、光波の進行方向と交差するように複数の楔型の湾曲状の溝8、8・・・が形成されており、これらの溝8、8・・・は、シリコン樹脂の充填物9により埋められている。これらのスラブ導波路6、7は、いずれも長さが25mmに形成されている。

【0026】以上のように構成される本実施形態の光波長合分波器は、従来、問題とされてきた温度依存性を抑制する特質を有しており、以下、この温度無依存性の原理を説明する。充填物9を構成するシリコン樹脂は、屈折率の温度依存性がマイナスのため、温度変化が生じ*

*ると、これを充填した湾曲状の溝8、8・・・を通過する光波の屈折角もこの温度依存性に依じて変化する。

【0027】従って、入力側スラブ導波路6とチャネル導波路3の境界近傍での等位相面は、温度によって傾斜することになり、この傾斜量は、チャネル導波路3を伝搬することによって生じる等位相面の傾斜量とキャンセルできる関係となる。この結果、チャネル導波路3と出力側スラブ導波路7の境界近傍における等位相面は、温度が変化しても傾斜せずに一定の向きとなり、従って、これにより温度無依存化が実現する。

【0028】次に、温度無依存化の条件を定量的に説明する。この光波長合分波器において、出力側スラブ導波路7の対称軸10上に配置された出力用チャネル導波路5より出力される光波の波長 λ は、 n_s をチャネル導波路3の等価屈折率、 n_s を入力側スラブ導波路6の等価屈折率、 m を回折次数、および δr を入力側スラブ導波路6での入力用チャネル導波路4の出口11からチャネル導波路3の入口12まで伝搬する光波の経路長における隣接するチャネル導波路3の間の差としたとき、以下の式(4)によって求められる。

【数4】

$$\lambda = \frac{n_s \Delta L + n_s \delta r}{m} \quad (4)$$

【0029】すべてのチャネル導波路3の入口12は、それぞれ入力用チャネル導波路4の出口11からほぼ等距離にある。従って、溝8、8・・・が存在しない場合には、入力用チャネル導波路4の出口11からチャネル導波路3の入口12までの距離は、どのチャネル導波路3においてもほぼ同じとなり、 $\delta r = 0$ となるが、本実施※

※形態の場合には、湾曲状の溝8、8・・・が存在するため光波が屈折し、この結果、 δr はゼロにはならない。

【0030】波長 λ の温度係数は、式(4)を温度 T で微分することにより以下の式(5)となる。

【数5】

$$\frac{d\lambda}{dT} = \frac{\Delta L}{m} \left[\frac{dn_s}{dT} + n_s \frac{1}{\Delta L} \frac{d(\Delta L)}{dT} + \frac{1}{\Delta L} \frac{d(n_s \delta r)}{dT} \right] \quad (5)$$

従って、 λ の温度無依存条件は、式(6)となり、ここ ★り決定される。

で $d(n_s \delta r)/dT$ は、溝8、8・・・の位置、形 40 【数6】

状、および溝8、8・・・を埋める光学樹脂の屈折率によ★

$$\frac{dn_s}{dT} + n_s \frac{1}{\Delta L} \frac{d(\Delta L)}{dT} + \frac{1}{\Delta L} \frac{d(n_s \delta r)}{dT} = 0 \quad (6)$$

【0031】 $d(n_s \delta r)/dT$ を算出し、温度無依存となる場合の湾曲状の溝8、8・・・の位置および形状の条件を以下に導出する。図2は、 δr を導出するため

に入力側スラブ導波路6を拡大した図である。点Oは、入力用チャネル導波路4の出口11の位置に相当する。

また、円弧 h は、チャネル導波路3の入口12が並ぶ曲

線であり、溝8、8・・・が存在しない場合には、入力用チャネル導波路4から入力した光波の等位相面と一致する。

【0032】ここで、溝8、8・・・が点O' 近傍に配置され、この溝8、8・・・により光波の進行方向が点O' を中心として角度 θ だけ回転したとすると、溝8、8・・・が存在しない場合における光波の等位相面である円弧hと等価な等位相面は、点O' を中心として円弧hを角度 θ だけ回転させた円弧h' となる。また、 θ が小さい*

$$\Delta r_{\theta}(\Psi, \theta) \cong r_{\theta} \sin \Psi$$

なお、算出するにあたって、 θ は1次の微量量とし、2次以降の微量量を無視した。これにより点Oを中心として隣接するチャネル導波路3の入口12における配置角度間隔を $\Delta\Psi$ とすると、隣接するチャネル導波路3の間*

$$\delta r = \Delta r_{\theta}(\Psi + \Delta\Psi, \theta) - \Delta r_{\theta}(\Psi, \theta)$$

$$\cong r_{\theta} \Delta\Psi$$

【0034】次に、湾曲状の溝8、8・・・による光波の進行方向の回転角 θ を考察する。図3は、湾曲状の溝8、8・・・の部分拡大して示したもので、溝8、8・・・は、屈折率 n_{Ψ} 〔 $\neq n_s$ 、(入力側スラブ導波路6の構成材の屈折率)〕のシリコン樹脂より構成される充填物9によって埋められている。従って、光波は、これら★

$$\theta \cong \frac{n_{\Psi} - n_s}{n_s} \alpha$$

【0035】また、式(8)および(9)より、 $d(n_s \delta r) / dT$ は式(10)により求められ、さらに、ここで $1/r_{\theta} \cdot dr_{\theta} / dT = 1/\Delta L \cdot d(\Delta L) / dT$ であることを考慮すると、 i が無依存になるため☆

$$\frac{d(n_s \delta r)}{dT} = r_{\theta} \Delta\Psi \alpha \left[\frac{dn_{\Psi}}{dT} - \frac{dn_s}{dT} + (n_{\Psi} - n_s) \frac{1}{r_{\theta}} \frac{dr_{\theta}}{dT} \right] \quad (10)$$

【数11】

$$r_{\theta} \alpha = \frac{\Delta L}{\Delta\Psi} \frac{dn_s}{dT} + \frac{1}{\Delta L} \frac{d(\Delta L)}{dT} \quad (11)$$

【0036】ここにおいて本実施の形態でのパラメータは、 $\Delta L = 66.5 [\mu m]$ 、 $\Delta\Psi = 0.046 [deg]$ である。また、光回路の構成材は、石英系材料であり、 $n_s \cong n_{\Psi} \cong 1.45$ 、 $dn_s / dT \cong dn_{\Psi} / dT \cong 1 \times 10^{-5}$ 、 $1/\Delta L \cdot d(\Delta L) / dT \cong 5 \times 10^{-7}$ である。これにより式(11)より、入力用チャネル導波路4の出口11から溝8、8・・・の位置までの距

* 場合、入力側スラブ導波路6の対称軸13より角度 Ψ の方向のチャネル導波路3の入口12までの光波の経路長は、溝8、8・・・が存在しない場合に比べて点pと点Qの距離 $\Delta r_{\theta}(\Psi, \theta)$ だけ増加する。

【0033】ここで、点Oと点O' の距離(入力用チャネル導波路4の出口11から溝8、8・・・までの距離)を r_{θ} とすると、 $\Delta r_{\theta}(\Psi, \theta)$ は、次式(7)により求められる。

【数7】

$$(7)$$

※の光波の経路長差 δr は、以下の式(8)により求められる。

【数8】

$$(8)$$

★の溝8、8・・・を通過することにより等位相面の角度が変化し、 θ がゼロではなくなる。各溝8、8・・・の開き角度(扇形の中心角)を $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ とし、 n 個の溝8の開き角度の和 α を $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n$ とすると、 θ は式(9)により求められる。

【数9】

$$(9)$$

☆の溝8、8・・・の位置 r_{θ} および開き角度の和 α の条件は、式(6)に式(10)を代入して、式(11)により求められる。

【数10】

離 r_{θ} と開き角度の和 α の積は、 $r_{\theta} \alpha = 12.8 [mm \cdot deg]$ となる。ここでは、 $r_{\theta} = 10 [mm]$ とし、 $\alpha = 12.8 [deg]$ とした。

【0037】図4の(a)は、複数の湾曲状の溝8、8・・・のうちの1個の溝を示したものである。湾曲状の溝8の形状において、入力用チャネル導波路4に近い側の壁面 W_n と遠い側の壁面 W_f は、いずれもその曲率中心

を入力用チャネル導波路4の出口11付近に位置させている。このため、入力用チャネル導波路4の出口11の位置である点Oからの角度 ψ が変化すると、入力用チャネル導波路4の出口11から壁面 W_n 、 W_f までの距離は、(b)に示されるように直線的に変化する。

【0038】従って、これにより溝8の中央付近を伝搬する光波の屈折率 θ 、と中央から離れた部分を伝搬する光波の屈折率 θ 、を等しくすることが可能となるため収差が生じなくなり、結果として、光波のスペクトル応答を、溝8が存在しない場合とほぼ同レベルに維持することが可能となる。

【0039】図5は、湾曲状の溝8、8・・・の開き角度の和 α が一定である場合において、溝8の数と過剰損失の関係を示したものである。溝数が増えるほど過剰損失は増加するが、その増加の度合は、溝の数が増加するのに伴い減少する。この理由としては、スペースに制約があるため、溝数の増加に伴って各溝幅が小さく形成されること、また、複数の溝8、8・・・の間隔が最適化されることにより溝間の導波路がレンズの役割を果たすことなどが挙げられる。

【0040】図6は、溝8の幅が及ぼす過剰損失への影響を示したものである。溝幅が増加すると、過剰損失は急激に増大する。開き角度の和 α が同じである場合、入力用チャネル導波路4の出口11から或る角度 ψ で出射した光波は、溝8を通過する距離の和が同じになる。従って、この結果、1個あたりの溝幅をできるだけ小さく設定するほど、トータルの過剰損失は抑制されることになる。

【0041】なお、溝8を過剰に多く形成することは、溝全体を大型化すると同じであり、入力用チャネル導波路4の出口11から溝8の想定位置O'までの距離 r 、と、実際の溝8、8・・・の配置位置との対応づけが難しくなるので注意を要する。本実施形態においてはこのことに配慮し、溝8の数を12個とした。

【0042】図7は、以上の構成の本実施形態の光波長合分波器における波長損失特性をビーム伝搬による設計値とともに示したものである。設計値の最低損失と実際の測定値での最低損失を一致させて示してある。このグラフによれば、通過域(メインローブ)Aの形状が設計値とほぼ同じであり、また、最低損失も4.7dBと低く、この値は、図11に示された溝のない光波長合分波器の損失特性である4.3dBとほぼ同じである。入力側スラブ導波路6に湾曲状の溝8を形成したことによる効果が明確に現れている。なお、湾曲状の溝8を出力側スラブ導波路7に形成するときも、同様の効果は得られる。

【0043】

【発明の効果】以上説明したように、本発明による光波長合分波器によれば、入力側あるいは出力側のスラブ導波路が、アレイ導波路回折格子と出力側のスラブ導波路の境界付近での温度変化により生ずる各波長の光の等位相面の変化をキャンセルするために、湾曲状の材料をその一部に有しているか、あるいはこれを具体化した構成として、入力側あるいは出力側のスラブ導波路に光波の進行方向と交差する湾曲状の溝を形成し、この溝をスラブ導波路と異なる屈折率の温度勾配を有した充填物によって埋めているため、損失増が抑制され、最適化されたスペクトル応答性の光波長合分波器を構成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による光波長合分波器の実施の形態を示す説明図。

【図2】図1の光波長合分波器の入力側スラブ導波路を示す拡大図。

【図3】図1の光波長合分波器の湾曲状の溝の部分を示す拡大図。

【図4】円弧状の溝による作用を図解した説明図であり、(a)は光波の進行方向、(b)は円弧状の溝の壁面までの距離と角度の関係を示す。

【図5】円弧状の溝の数と過剰損失の関係を示す説明図。

【図6】円弧状の溝の幅寸法と過剰損失の関係を示す説明図。

【図7】本発明の実施形態による光波長合分波器の波長損失特性を示す説明図。

【図8】従来の光波長合分波器を示す説明図。

【図9】従来の他の光波長合分波器を示す説明図。

【図10】従来のさらに他の光波長合分波器を示す説明図。

【図11】従来の光波長合分波器において出力側スラブ導波路に溝が存在しない場合の損失特性を示す説明図。

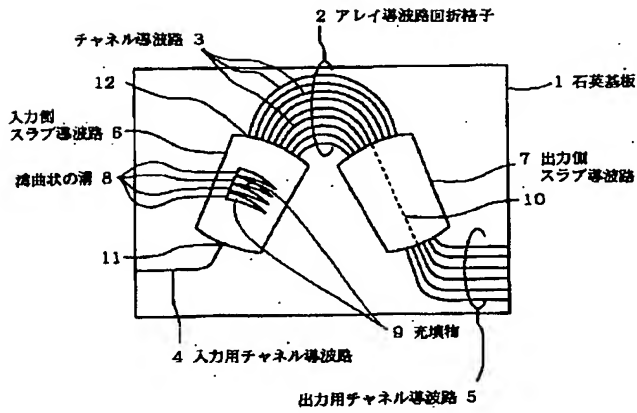
【図12】従来の光波長合分波器において出力側スラブ導波路に溝が存在する場合の損失特性を示す説明図。

【図13】従来の光波長合分波器におけるスペクトル応答の問題を図解した説明図。

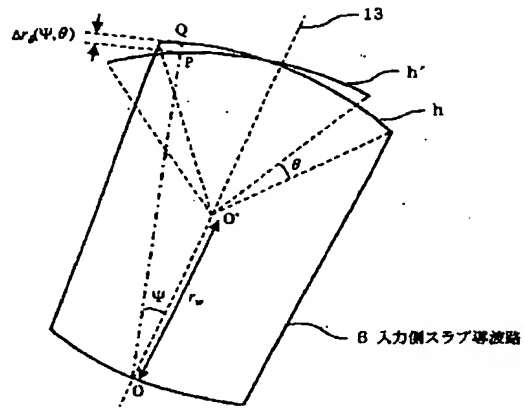
【符号の説明】

- | | |
|---|------------|
| 1 | 石英基板 |
| 2 | アレイ導波路回折格子 |
| 3 | チャネル導波路 |
| 4 | 入力用チャネル導波路 |
| 5 | 出力用チャネル導波路 |
| 6 | 入力側スラブ導波路 |
| 7 | 出力側スラブ導波路 |
| 8 | 湾曲状の溝 |
| 9 | 充填物 |

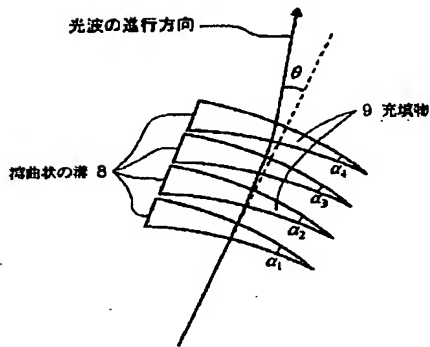
【図1】



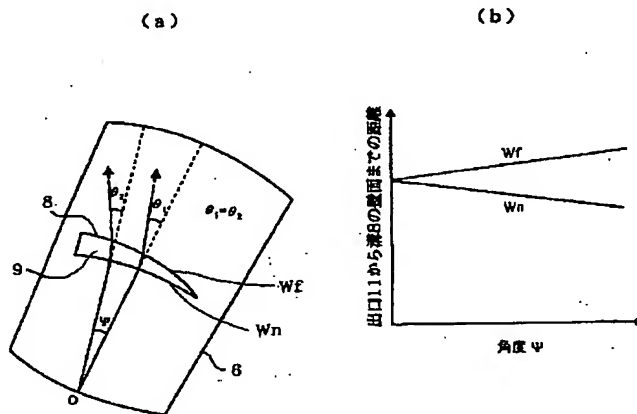
【図2】



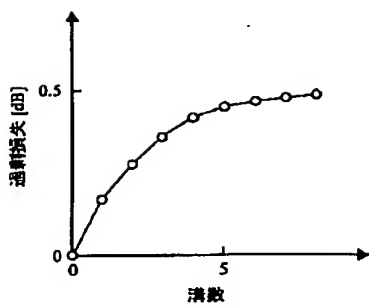
【図3】



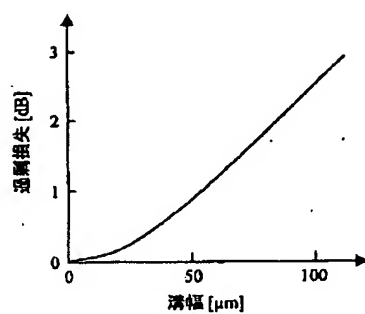
【図4】



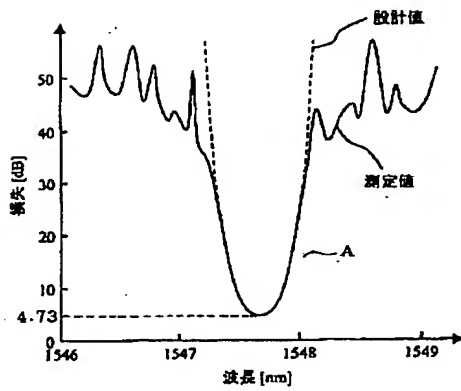
【図5】



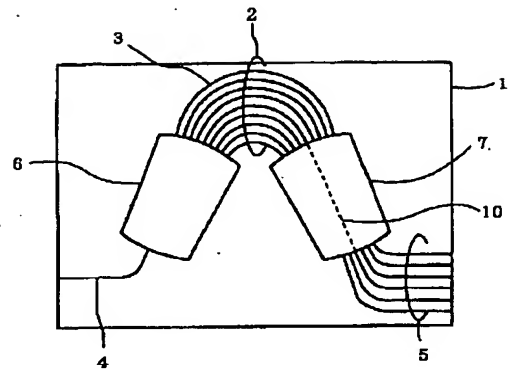
【図6】



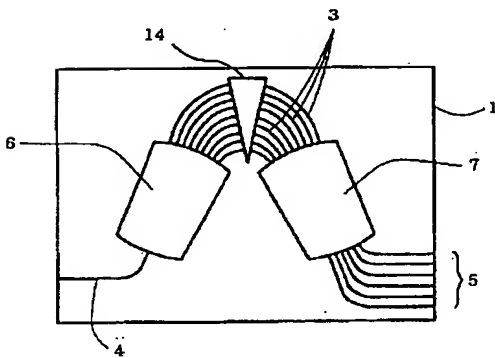
【図7】



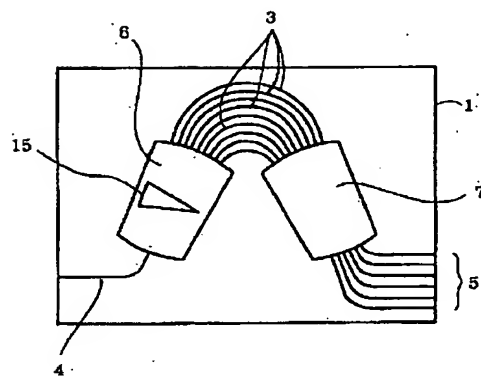
【図8】



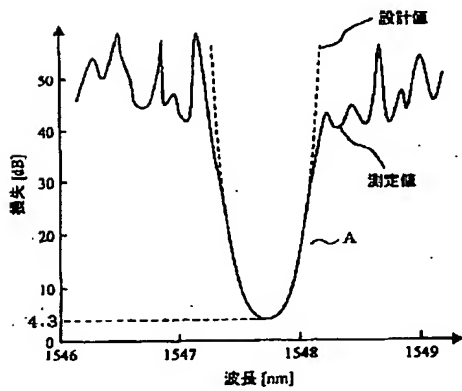
【図9】



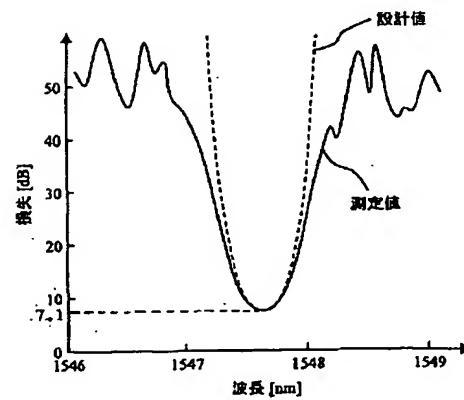
【図10】



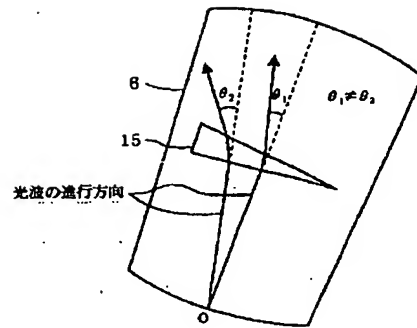
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(72)発明者 上塚 尚登
茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立
電線株式会社オプトロシステム研究所内

Fターム(参考) 2H047 KA02 KA04 KA12 LA19 QA04
QA05 RA00 TA35

BEST AVAILABLE COPY